



压缩机应用中金属-聚合物衬套的设计内容

*Christopher D. Small, 美国新泽西州塞罗费尔, GGB Bearing Technology

摘要

滚动元件轴承、含铅青铜或双金属衬套等传统压缩机轴承在轴承位置处缺润滑的条件下受磨损影响极大。自润滑性是金属聚合物的独特优势，使其成为此种特殊条件下更加可靠的解决方案。另外，同其他轴颈轴承相比，它们还具有无铅、低噪和低摩擦等其他优势。同传统轴承相比，装配间隙范围是金属聚合物设计中最大的障碍之一，因为其可直接影响工作效率。尽管如此，通过系统设计调整和/或精整作业控制间隙，金属-聚合物已在压缩机设计中实现了商业应用。本文对金属-聚合物与传统压缩机轴承在结构、系统设计和性能方面的差异作了重点说明。

1.引言

压缩机运行很大程度上依赖于由其他许多部件组成的制冷和空调系统中的制冷剂 and 润滑剂混合物。理论上讲，所采用的速度和负载对大多数压缩机应用都能产生流体动力润滑。尽管如此，在启动、关闭、压缩机油从气体迁移中“析出”以及制冷剂稀释导致润滑剂粘度降低等情况下经常会出现边界和混合膜润滑。混合或边界润滑持续时间取决于稳态流系统设计。

传统压缩机轴承（例如动元件轴承、含铅青铜或双金属衬套）的性能和可靠性很大程度上取决于润滑条件。导致配合面之间发生接触的混合膜和边界润滑条件可产生更高的摩擦和过度磨损。相比而言，金属-聚合物衬套具有独特优势，因为其自润滑性使得配合面之间接触时不会产生较高的磨损或摩擦。因此，金属-聚合物在上述特定条件下可提供一种更加可靠的解决方案。

GGB 中国

上海市长宁区延安西路 2633 号
美丽华商务中心 D307 室
T: 86 21 6219 9885
F: 86 21 6219 9805

China@ggbearings.com
www.ggbearings.cn

金属-聚合物衬套在商业压缩机中已有 20 年的应用历史，但对于大部分行业而言，它仍是一个比较新颖的概念。若不克服与传统压缩机轴承和金属-聚合物之间差异相关的特定设计障碍，商业应用就不可能成功实现。本文重点分析了金属-聚合物在结构、系统设计和性能方面的差异。

2.金属-聚合物结构

金属-聚合物衬套一般由多层复合结构组成，底层是一块刚性钢背板，中间是多孔或网状层（通常采用青铜材质），上面是渗入到中间层的聚合物盖层。对于大多数压缩机应用而言，该聚合物盖层主要由 PTFE（聚四氟乙烯）和组合填料构成。组合填料和聚四氟乙烯决定着衬套的固有性能特性。图 1 是金属-聚合物衬套横截面，其中间层由多孔青铜材料制成。



图 1：典型金属-聚合物衬套横截面

金属-聚合物衬套通常由带状材料分两步制成，包括通过某种方式使中间层附着至钢背板，并实现聚合物材料的渗透。带状材料切开后包入衬套。最终尺寸可压配到外壳内获得预定安装内径。此种形式的衬套又称作“拼合衬套”，不是类似于铸造青铜或金属衬套的连续圆柱体。

最终衬套尺寸精度取决于制造和测量能力。衬套最终壁厚的典型总公差从 20 到 45 μ m 不等，具体取决于带材厚度。此种公差水平适用于标准件，但在某些情况下可实现更高水平的公差控制。

GGB 中国

上海市长宁区延安西路 2633 号
美丽华商务中心 D307 室
T: 86 21 6219 9885
F: 86 21 6219 9805

China@ggbearings.com
www.ggbearings.cn

3.系统设计

大多数应用情形中，轴承系统设计主要受轴和轴承表面内部或之间的间隙影响。对于压缩机而言，间隙是一个重要的效率影响因素。此种关系将在以下性能章节中进一步分析。然而，本节仍将重点分析传统压缩机轴承和金属-聚合物衬套在典型间隙方面的差异。

3.1 金属-聚合物典型间隙范围

聚合物表面是决定轴承性能的一个关键因素。加工能力限制了由于复合结构而可以控制的公差量。精确制作和测量由钢、青铜和聚合物组成的衬套可能较为困难，并且正在不断研究以期改进。此种情况下，机械加工并不是聚四氟乙烯基础金属聚合物的适当选项。中间青铜结构上方的聚合物薄层可以是轴承表面性能的关键组成部分。加工时去除该层只保留青铜/聚合物基材时，性能相对于完整聚合物表面可能会有所降低。

表 1 展示了典型金属-聚合物衬套和标准拉杯型滚针轴承之间的间隙差异。两者均根据 ISO h7 和 N6 轴和外壳配合进行计算。间隙范围确切值因制造商而异。

表 1：间隙范围比较 (μm)

轴尺寸 (mm)	滚针		金属聚合物	
	最大	最小	最大	最小
10	55	10	85	5
20	75	15	115	10
30	75	15	125	10
40	85	20	135	15
50	85	20	160	15

此种情况不包括青铜或双金属衬套，因为其通常可在安装后进行加工，从而将该间隙控制在更小范围内。此外，倘若必须减小间隙范围，则可使用更高精度的滚针轴承。滚动元件和双金属轴承可保持更精确的公差范围，但这可能并非金属-聚合物应用情形的一个要素。

3.2 商用压缩机应用

GGB 中国

上海市长宁区延安西路 2633 号
美丽华商务中心 D307 室
T: 86 21 6219 9885
F: 86 21 6219 9805

China@ggbearings.com
www.ggbearings.cn

金属-聚合物衬套引入压缩机应用领域已有二十年时间，有效增强了应用性能和可靠性。表 2 和表 3 比较了传统压缩机轴承和在往复式和轴板式压缩机中取代传统轴承的金属-聚合物衬套的典型间隙范围。此外，表 4 给出了给定轴尺寸的商用涡管间隙实例，用于证明金属-聚合物的间隙范围。由于各家制造商都采用自身独特的压缩机设计，相同尺寸所需间隙范围可能会有所不同。

表 2：往复式压缩机间隙范围比较 (μm)

轴尺寸 (mm)	青铜		金属聚合物	
	最大	最小	最大	最小
40	50	40	115	40
45	55	45	120	45

表 3：轴板式压缩机间隙范围比较 (μm)

轴尺寸 (mm)	滚针		金属聚合物	
	最大	最小	最大	最小
17	65	15	90	15

表 4：涡旋式压缩机间隙范围 (μm)

轴尺寸 (mm)	客户 A		客户 B	
	最大	最小	最大	最小
28	115	30	140	50
32	120	35	140	50
40	130	45	160	80

GGB 中国

上海市长宁区延安西路 2633 号

美丽华商务中心 D307 室

T: 86 21 6219 9885

F: 86 21 6219 9805

China@ggbearings.com

www.ggbearings.cn

显而易见，金属-聚合物可在高于双金属或滚针轴承的间隙范围内有效且高效地运行。实际上，有些研究者已经证明，如下节所述，间隙范围必须适当调整以获得所需性能。以金属-聚合物替代传统压缩机轴承需进行调查研究，以便根据最佳性能要求确定最优间隙范围。

4.性能

压缩机金属-聚合物衬套的性能不仅取决于间隙，还取决于材料在这些应用条件下耐受各种速度、负载、温度和腐蚀作用的能力。压缩机典型轴承失效模式包括磨损、疲劳和气蚀。借助将填料融入聚四氟乙烯的聚合物轴承技术，金属-聚合物制造商已经有能力设计出能够应对磨损和疲劳、而且在大多数情况下比传统压缩机轴承更出色的材料。这主要归功于材料在边缘和边界润滑条件下的自润滑性。虽然耐气蚀性不及双金属，但足以满足压缩机轴承使用条件。

图 2 给出了一个已经完成的测试实例，对聚四氟乙烯基金属-聚合物衬套与含铅青铜的耐磨性进行了对比。每种衬套采用两个试样；两个含铅青铜衬套和一个金属-聚合物衬套在相同条件下测试，而第二个金属-聚合物试样则将负载和速度加倍。

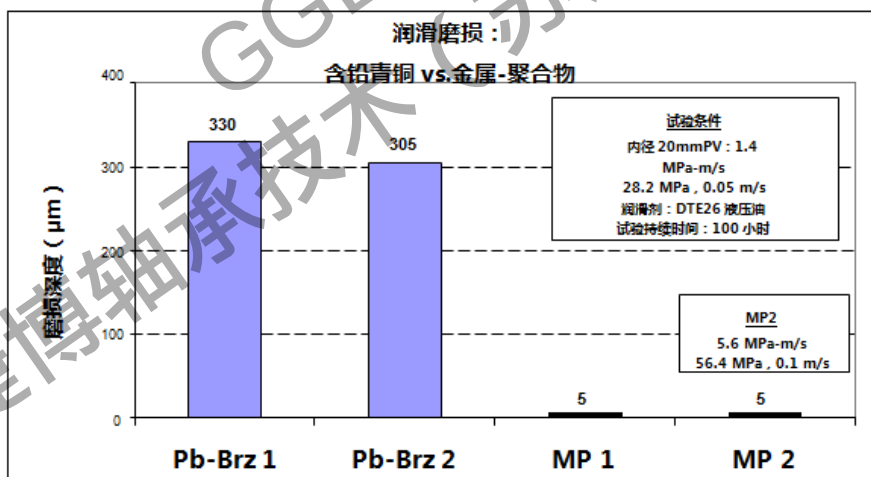


图 2：含铅青铜与金属-聚合物衬套在试验条件下的润滑磨损对比

GGB 中国

上海市长宁区延安西路 2633 号
美丽华商务中心 D307 室
T: 86 21 6219 9885
F: 86 21 6219 9805

China@ggbearings.com
www.ggbearings.cn



结果表明，即使负载和速度翻倍，金属-聚合物衬套的耐磨性仍然远超含铅青铜。

4.1 金属聚合物衬套的流体动力润滑

可根据轴颈轴承中常规流体动力学计算确定润滑膜生成以及轴承设计中的其他重要因素。然而，金属-聚合物衬套在某些情况下会出现一种独特现象：轴承表面的模量竟然低于青铜、双金属或钢。与相同条件下的传统轴颈轴承相比，较高负载可导致弹性流体动力润滑（EHL）条件下形成更大的膜厚。人们普遍认为，聚合物表面的顺从性可更有效地分配负载并增加膜厚度。然而，即使在膜不良生成的情况下，金属-聚合物衬套仍具有一定优势，因为其具有润滑的聚四氟乙烯表面。

4.2 利用金属-聚合物衬套保持较高效率

由于金属-聚合物安装公差范围相对较大，是否能够有效保持或提高效率主要取决于压缩机设计。公差范围增大通常会导致压缩机内配合件因较高公差叠加而无法正常运行，从而导致功耗增加或输出降低。尽管如此，通过对压缩机内部变化进行适当测试和研究以及适当的轴承设计可有效解决该问题。

例如，轴和外壳尺寸可加以控制，以便根据制造商能力极限减小公差范围。此外，金属-聚合物轴承制造商正在通过持续研究寻求减小产品公差范围的方法。金属-聚合物还可在衬套安装完成后采用二次成型或抛光作业，这需要穿过具有指定直径的整形工具。如果衬套内径小于整形工具，聚合物盖层将被压缩，从而减小所安装内径的公差范围。尽管如此，倘若干涉过大，压缩聚合物材料会对性能产生不利影响。每种聚四氟乙烯/填料对二次成型作业的反应都存在差异。金属-聚合物制造商应为其特定材料收集更多信息。

有效间隙对效率影响的研究结果如图 3 所示。此项实验由一家涡旋式压缩机制造商完成，描绘了金属-聚合物衬套在各种间隙条件下相对于加工成型的双金属衬套的性能情况。结果表明，一个间隙范围内效率的提升幅度大于双金属轴承的预期幅度。

GGB 中国

上海市长宁区延安西路 2633 号

美丽华商务中心 D307 室

T: 86 21 6219 9885

F: 86 21 6219 9805

China@ggbearings.com

www.ggbearings.cn

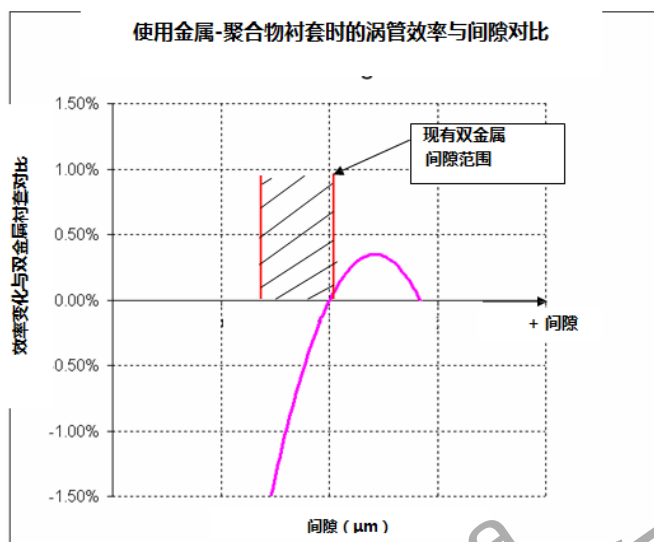


图 3：特定间隙范围内金属-聚合物效率与双金属效率对比

关于压缩机系统设计，如要彻底了解聚合物衬套性能特性，仍需开展大量研究工作。需要利用该测试及其他类型的测试充分理解如何利用金属-聚合物衬套提升并保持压缩机应用条件下的性能。每种设计都有其独特性，因此需要根据具体情况开展测试和研究。

5.结论

如能正确设计，金属聚合物所提供的轴承系统将比传统轴径轴承更加可靠。聚四氟乙烯是一种天然润滑剂，可在边缘和边界润滑条件下实现更高的耐热性和耐磨性。聚合物表面顺从性较高，对轴偏斜的应对能力优于传统压缩机轴承，从而使系统更加适应压缩机设计中的公差叠加。不建议将金属-聚合物作为传统压缩机轴承材料的直接替代品，因为它们在各种间隙条件下的工作情况往往存在差异。

GGB 中国

上海市长宁区延安西路 2633 号

美丽华商务中心 D307 室

T: 86 21 6219 9885

F: 86 21 6219 9805

China@ggbearings.com

www.ggbearings.cn



随着聚合物科学的不断进步，将来可能会开发出一种可在安装时加工、以保持间隙控制的聚合物。另外，金属-聚合物还为开发更坚固耐用、更加可靠的衬套产品开发提供了一种新材料技术，比传统双金属、青铜或滚动元件产品更好地顺应压缩机行业变革趋势（无铅、13 SEER、CO2 等）。

GGB China
捷博轴承技术（苏州）有限公司

GGB 中国

上海市长宁区延安西路 2633 号

美丽华商务中心 D307 室

T: 86 21 6219 9885

F: 86 21 6219 9805

China@ggbearings.com

www.ggbearings.cn